



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 38 430 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**H 01 L 27/144**

②① Aktenzeichen: 198 38 430.0  
②② Anmeldetag: 24. 8. 1998  
④③ Offenlegungstag: 9. 3. 2000

**DE 198 38 430 A 1**

⑦① **Anmelder:**  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ **Vertreter:**  
Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
81241 München

⑦② **Erfinder:**  
Buchner, Reinhold, Dipl.-Phys., 85774 Unterföhring,  
DE; Sax, Melanie, Dipl.-Ing., 81241 München, DE

⑤⑥ **Entgegenhaltungen:**

GB	22 31 199 A
US	56 46 432 A
US	54 49 944 A

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Verfahren zur Herstellung eines Arrays von Photodetektoren**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Arrays von Photodetektoren, bei dem ein Substrat mit einer vorderseitigen Schichtfolge, bestehend aus einer elektrisch leitfähigen Schicht als gemeinsamer Elektrode, einer photoempfindlichen Schicht auf der elektrisch leitfähigen Schicht, und mehreren elektrisch leitfähigen Gebieten als Einzelelektroden auf der photoempfindlichen Schicht, bereitgestellt wird. Die Verdrahtung der elektrisch leitfähigen Gebiete wird auf der Vorderseite durchgeführt. Anschließend wird das Substrat mit der Schichtfolge und der Verdrahtung auf ein Trägersubstrat aufgebracht, wobei die Vorderseite des Substrates zum Trägersubstrat gerichtet ist. Danach wird das Substrat von der Rückseite her gedünnt, bis auf eine Dicke, die die Transmission von zu detektierender Strahlung zur photoempfindlichen Schicht von der Rückseite her ermöglicht. Auf diese Weise entsteht ein Array von Photodetektoren, bei dem die gemeinsame Elektrode auf der Seite des Strahlungseinfalls (hier: Rückseite) liegt, so daß die Verdrahtung der Einzelelektroden nicht zur Abschattung der zu detektierenden Strahlung führt.

**DE 198 38 430 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Arrays von Photodetektoren, insbesondere Photodioden, sowie die Ausgestaltung eines Photodetektorarrays, das nach dem Verfahren hergestellt werden kann. Unter einem Array von Photodetektoren ist hierbei eine ein- oder zweidimensionale Anordnung von Photodetektoren zu verstehen.

Es gibt derzeit viele technische Systeme, bei denen optische Signale ertastet und zur Weiterverarbeitung in elektrische Signale umgewandelt werden müssen. Beispiele hierfür sind die Anwendungsfelder (magneto-) optische Datenspeicherung, wie bei CD-, DVD- oder MO-Laufwerken, die optische Datenübertragung über Glasfasernetzwerke, sowie die Bereiche Bildverarbeitung, Mustererkennung und optische Spektroskopie. Zur Detektion der elektromagnetischen Strahlung werden bei diesen Systemen in der Regel Halbleiter-Photodioden als Photodetektoren verwendet, die je nach Anforderung als Einzeldiode, Diodenzeile oder Diodenarray angeordnet werden. Im Bereich der Bildverarbeitung kommen hierbei insbesondere zeilenweise oder flächig angeordnete Detektoren zum Einsatz.

Als Grundmaterial zur Herstellung von Photodioden wird ein Halbleitersubstrat, beispielsweise aus Silizium, Germanium, III-V- oder IV-VI-Verbindungen, verwendet. Beispiele für III-V-Halbleiter sind GaAs, GaP, InP, InAs, InSb, GaInAs oder InGaAsP, für IV-VI-Halbleiter PbSe, PbTe, CdSe oder CdTe.

Die einfallende elektromagnetische Strahlung wird im Halbleitersubstrat absorbiert und erzeugt Ladungsträger, die schließlich einen Photostrom hervorrufen. Die Größe des Stromflusses hängt von der Beleuchtungsstärke der zu erfassenden Strahlung ab. Der detektierbare Wellenlängenbereich wird durch das verwendete Halbleiter-Grundmaterial bestimmt. Dieser liegt im Fall von Silizium bei ca. 200 nm bis 1100 nm, während er bei Germanium ca. 200 nm bis 1700 nm umfaßt.

Zwischen den beiden Elektroden der Photodiode wird eine Raumladungszone erzeugt, in deren elektrischem Feld die Trennung der generierten Ladungsträger erfolgt. Um einen hohen Wirkungsgrad der Photodiode zu erhalten, muß gewährleistet werden, daß ein möglichst großer Teil der Strahlung in die Diode eingekoppelt und weitgehend innerhalb der Raumladungszone absorbiert wird. Außerhalb der Raumladungszone erzeugte Ladungsträger rekombinieren überwiegend und tragen nicht zum Photostrom bei. Die Rekombinationsrate wird durch Störungen des Kristallgitters und Defekte, die auch durch Verunreinigungen hervorgerufen werden können, erhöht und ist insbesondere im Bereich der Oberfläche sehr hoch.

Die Strahlungseinkopplung in die Photodiode wird durch die Brechungsindizes des Halbleitermaterials, der Deckschicht über der Photodiode und der Umgebung bestimmt. Bei monochromatischer Strahlung treten außerdem Interferenzeffekte durch Reflexionen an Grenzflächen auf, die die Transmission beeinflussen. Durch geeignete Wahl der Deckschichten über der Photodiode können eine optische Vergütung realisiert und die Strahlungseinkopplung für eine Wellenlänge oder einen Wellenlängenbereich optimiert werden.

Die Intensität der einfallenden Strahlung nimmt gemäß dem Absorptionsgesetz exponentiell mit zunehmender Eindringtiefe ab. Die Absorption und damit die Eindringtiefe werden durch den Absorptionskoeffizienten bestimmt, der hauptsächlich vom Halbleitermaterial und dessen Dotierung, sowie von der Wellenlänge der Strahlung abhängt. Die Absorption steigt in der Regel mit sinkender Wellenlänge und zunehmender Dotierung an. Ebenso bewirken Kristallstörungen, wie sie in polykristallinem oder amorphem Ma-

terial in starkem Maß vorliegen, ein Ansteigen der Strahlungsabsorption.

Die Weite der Raumladungszone hängt bei gegebener elektrischer Spannung im Wesentlichen von der Dotierung des Halbleiters ab und nimmt mit sinkendem Dotierungsniveau zu. Häufig werden daher sog. pin-Photodioden verwendet, die eine intrinsische Halbleiterschicht enthalten, die sehr niedrig dotiert ist. Damit können Raumladungszonen mit einer Ausdehnung von mehreren Mikrometern erzeugt werden.

Lag in der Vergangenheit der Schwerpunkt der Entwicklung bei der Fertigung von Einzelphotodioden, so macht die zunehmende Nachfrage nach Gesamtsystemlösungen die Herstellung von integrierten Systemen erforderlich, bei denen Detektoren mit der dazugehörigen Auswerteelektronik, die Verstärkungs-, Logik- oder Speicherelemente enthalten kann, integriert werden. Neben der monolithischen Integration, bei der Detektoren und Elektronik nebeneinander auf einem Substrat erzeugt werden, gewinnt mittlerweile die vertikale Integration (siehe z. B. Y. Akasaka, Proc IEEE 74 (1986) 1703) bzw. die Herstellung von Dünnschichtelementen für Anwendungen, die mit dem Begriff "Smart Label" umschrieben werden, eine immer größere Bedeutung. Hierbei spielen auch die Kosten eine Rolle, da die monolithische Integration zum einen die Entwicklung von speziellen Fertigungsprozessen erfordert und insgesamt höhere Fertigungskosten verursacht. Zum anderen sind Photodioden im Vergleich zur Auswerteelektronik verhältnismäßig einfache Elemente, die in der Regel eine große Fläche beanspruchen. Bei der Integration fallen damit für die Photodioden wesentlich höhere Flächenkosten an, als bei der Fertigung im Rahmen eines einfachen Photodiodenprozesses. Für die genannten Anwendungsgebiete ist es allerdings erforderlich, Photodioden in dünnen Halbleiterfilmen mit Dicken von wenigen Mikrometern herzustellen.

Speziell bei Anwendungen aus dem Bereich der Mustererkennung oder Bildverarbeitung ist der Einsatz von Detektorarrays erforderlich. Bei einer großen Anzahl von Pixeln, die einzelnen Photodetektoren entsprechen, und bei kleinen Pixelgrößen treten jedoch zunehmend Probleme bei der Verdrahtung der Photodioden auf, da die Signalleitungen nicht mehr aus dem Array herausgeführt werden können, ohne die Totfläche, d. h. die für die Detektion ungenutzte Fläche, zwischen den einzelnen Pixeln drastisch zu erhöhen. Die Ursache liegt darin, daß die Verdrahtung auf der Vorderseite des Halbleitersubstrates, die aus Metall- oder Halbleiterschichten, wie Polysilizium, besteht, die einfallende Strahlung reflektiert bzw. absorbiert. Die Verdrahtungsschichten bewirken daher eine Reduzierung der optisch aktiven Fläche und damit des Gesamtwirkungsgrades sowie eine Verminderung der erreichbaren Auflösung. Weiterhin kann die reflektierte Strahlung das Gesamtsystem stören.

Zur Lösung dieser Probleme wurde die dreidimensionale Integration zur Herstellung von Systemen mit Photodetektorarrays als vielversprechender Weg angesehen. Allerdings ist es nicht für alle Anwendungsfälle wünschenswert, ein dreidimensional integriertes System zur Verfügung zu stellen. Für viele Fälle wäre es ausreichend, ein Verfahren zur Lösung der Verdrahtungsproblematik ohne die Integration von elektronischen Komponenten zur Signalverarbeitung zur Verfügung zu haben.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Arrays von Photodetektoren anzugeben, das die Verdrahtung auf einfache Weise ohne Reduzierung der optisch aktiven Fläche ermöglicht.

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Ein nach dem Verfahren herstellbares Photodetektorarray ist in Anspruch 24 angegeben. Vorteilhafte Ausgestal-

tungen des Verfahrens bzw. des Arrays sind Gegenstand der Unteransprüche.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Array von Photodetektoren, d. h. eine Anordnung von einander benachbarten Photodetektoren, hergestellt, die jeweils eine erste Elektrode auf einer Seite einer photoempfindlichen Schicht und eine zweite, allen Photodetektoren gemeinsame Elektrode auf der gegenüberliegenden Seite der photoempfindlichen Schicht aufweisen.

Hierfür wird zunächst ein Substrat mit einer vorderseitigen Schichtfolge bereitgestellt, die ganz oder teilweise Bestandteil des Substrates ist. Diese Schichtfolge besteht aus einer elektrisch leitfähigen Schicht als gemeinsamer Elektrode, der photoempfindlichen Schicht auf der elektrisch leitfähigen Schicht, und mehreren elektrisch leitfähigen Gebieten als erste Elektroden auf der photoempfindlichen Schicht. Die elektrisch leitfähige Schicht besteht hierbei vorzugsweise aus einem hoch dotierten Halbleitermaterial.

Die elektrische Kontaktierung und Verdrahtung der elektrisch leitfähigen Gebiete wird auf der Vorderseite durchgeführt.

Anschließend wird das Substrat mit der Schichtfolge und der Verdrahtung auf ein Trägersubstrat aufgebracht, wobei die Vorderseite des Substrates zum Trägersubstrat gerichtet ist.

Danach wird das Substrat von der Rückseite her gedünnt. Das Dünnen erfolgt bis auf eine Dicke, die die Transmission von zu detektierender Strahlung zur photoempfindlichen Schicht von der Rückseite her durch die elektrisch leitfähige Schicht hindurch ermöglicht.

Auf diese Weise entsteht ein Array von Photodetektoren, bei dem die gemeinsame Elektrode auf der Seite des Strahlungseinfalls (hier: Rückseite) liegt. Die erforderliche Verdrahtung der Einzelelektroden liegt auf der gegenüberliegenden Seite, so daß durch die Verdrahtung keine Abschattung der zu detektierenden Strahlung erfolgt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können daher dichte Photodetektorarrays hergestellt werden, die hinsichtlich der Pixeldichte nicht durch die Verdrahtung eingeschränkt sind.

Die Verdrahtung kann auf einfache Weise mit üblichen Verfahren auf der Vorderseite hergestellt werden, wobei die Leitungsführung unabhängig von den Detektorelementen ist und ohne Einschränkung über die Photodiode geführt werden kann. Dies ist von großem Vorteil und vereinfacht die Herstellung beträchtlich.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der bevorzugten Ausführungsform, speziell zur Herstellung von Photodiodenarrays, näher erläutert. Selbstverständlich ist das erfindungsgemäße Verfahren jedoch nicht auf die Herstellung von Photodioden als Photodetektoren beschränkt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Photodioden in einem Standard-Halbleitersubstrat hergestellt, wobei in der Regel ein reiner Photodiodenprozeß verwendet wird. Die Anordnung der Elektroden der Photodiode erfolgt dabei an Vorder- und Rückseite einer Substratschicht auf der Vorderseite des Substrates. Die Elektroden werden durch hoch dotierte und damit gut leitfähige Gebiete realisiert. Die Raumladungszonen erstrecken sich dementsprechend vertikal.

Anschließend wird die Verdrahtung mit üblichen Verfahren auf der Vorderseite der Substratschicht hergestellt, wobei die Leitungsführung unabhängig von den Detektorelementen ist und ohne Einschränkung über die Photodiode geführt werden kann.

Danach wird das Substrat ähnlich der Flip-Chip-Technologie auf ein Trägersubstrat aufgebracht und von der Rückseite her gedünnt, bis das hoch dotierte Gebiet für die ge-

meinsame Elektrode erreicht bzw. bis auf eine Restdicke von etwa 0,5 µm gedünnt wurde.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Anordnungen liegt bei der Erfindung die gemeinsame Elektrode an der der Strahlung zugewandten Oberseite und nicht an der Unterseite. Diese neue Oberfläche, die mit einer optisch transparenten Deckschicht, z. B. aus einem Oxid und/oder Nitrid, oder einem Schichtsystem versehen werden kann, stellt nun die Detektoroberfläche dar. Da die Verdrahtung auf der jetzigen Unterseite ausgeführt ist, wird die Detektoroberseite nicht durch reflektierende oder absorbierende Verdrahtungsschichten behindert.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figuren und eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Hierbei zeigen:

**Fig. 1** ein erstes Beispiel für ein Ausgangssubstrat mit einer Epitaxieschicht und hoch dotierten Elektroden zur Bildung von Photodioden;

**Fig. 1a** ein zweites Beispiel für ein Ausgangssubstrat mit einer vergrabenen stark dotierten Schicht und hoch dotierten Elektroden zur Bildung von Photodioden;

**Fig. 1b** ein drittes Beispiel für ein SOI-Ausgangssubstrat und hoch dotierten Elektroden zur Bildung von Photodioden;

**Fig. 2** das Ausgangssubstrat aus **Fig. 1** mit den Photodioden nach Durchführung der Verdrahtung und Passivierung;

**Fig. 3** das mit einem Trägersubstrat verbundene Ausgangssubstrat der **Fig. 2**;

**Fig. 4** das mit dem Trägersubstrat verbundene Ausgangssubstrat nach dem rückseitigen Dünnen des Ausgangssubstrates;

**Fig. 5** das mit dem Trägersubstrat verbundene Ausgangssubstrat nach dem Dünnen des Ausgangssubstrates und einer Isolation der neuen Oberfläche;

**Fig. 6** das fertige Photodiodenarray mit integrierten Dünnschicht-Photodioden; und

**Fig. 6a** das fertige Photodiodenarray mit integrierten Dünnschicht-Photodioden in einer Ausführungsform mit dielektrischer Isolation der Photodioden.

In den Figuren ist hierbei jeweils nur ein Ausschnitt aus den Substraten bzw. dem Photodiodenarray dargestellt, der zwei Photodioden erfaßt. Weitere Photodioden können selbstverständlich in den sich seitlich anschließenden (nicht dargestellten) Substratbereichen gebildet sein.

Das im folgende angeführte Ausführungsbeispiel beschreibt die Herstellung einer Dünnschicht-Photodiode.

Auf einem hoch dotierten Ausgangssubstrat **1** aus z. B. monokristallinem Silizium wird zunächst eine niedrig dotierte Epitaxieschicht **2** der gleichen Polarität abgeschieden. Infolge der starken Dotierung, die in der Regel zwischen  $10^{18}$  und  $10^{19}$  cm<sup>-3</sup> liegt, weist das Substrat **1** eine gute elektrische Leitfähigkeit auf und eignet sich als Elektrode. Die Epitaxieschicht **2** weist eine Dotierung auf, wie sie typischerweise bei Substraten für die Herstellung von elektronischen Bauelementen verwendet wird, und ist damit um Größenordnungen niedriger als beim Substrat **1**. Die Dicke der Epitaxieschicht und ihre Dotierung werden durch die Auslegung der Photodiode bestimmt und hängen im Wesentlichen von der Wellenlänge der zu detektierenden Strahlung ab. Hierbei werden die in der Beschreibungseinleitung dargestellten Zusammenhänge berücksichtigt.

Anschließend werden die Elektroden der Photodioden gebildet. Dazu wird auf dem Substrat **1** eine Maskierungsschicht **3**, beispielsweise aus Oxid, erzeugt oder abgeschieden und strukturiert, so daß Öffnungen gebildet werden. Diese Öffnungen legen dabei die Gebiete der Elektroden **4** der Photodiode fest. Die Elektroden sollen eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen, so daß an diesen Stellen hoch dotierte Gebiete erzeugt werden müssen.

Dies erfolgt durch Anwendung von Ionenimplantation oder Diffusion, wobei anschließend eine Temperung zum Eintreiben und/oder Aktivieren der Dotierstoffe folgen kann. Die Schicht 3 dient dabei als Maskierung. Damit können Elektroden mit einer Tiefe von maximal einigen Mikrometern erzeugt werden.

Alternativ zur Oxidschicht ist selbstverständlich auch die Verwendung von Photolack zur Maskierung für die Ionenimplantation möglich.

Beim Einsatz einer Eintreibtemperung, die typischerweise bei Temperaturen von 1100°C bis 1200°C durchgeführt wird, tritt wegen der isotropen Diffusion gleichzeitig auch eine entsprechende Verbreiterung der Strukturen auf. Dadurch vergrößern sich die lateralen Dimensionen der Elektroden 4.

Ein typischer Wert für die Tiefe der Elektroden 4 liegt bei etwa 0,5 µm. Die Herstellung von flacheren Elektroden erfordert die Verwendung von Sonderprozessen, wie Niedrigenergie-Implantationen und Kurzzeitemperprozesse. Zum anderen erhöht sich der Bahnwiderstand der Elektroden, was sich nachteilig auf Schaltgeschwindigkeiten auswirkt.

Mit einer der erwähnten Methoden werden die Elektroden 4 im Halbleitersubstrat 1 erzeugt, wobei die Elektroden 4 die entgegengesetzte Polarität zur Epitaxieschicht 2 aufweisen. Sind das Ausgangssubstrat 1 und die Epitaxieschicht 2 z. B. n-dotiert, so wird die Elektrode 4 p-dotiert. Damit wird die Diode mit den Anschlußelektroden 1 und 4 gebildet, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist.

In einer anderen Ausführungsform, die in Fig. 1a dargestellt ist, wird nicht ein hoch dotiertes Ausgangssubstrat 1 verwendet, sondern nur eine hoch dotierte Schicht 10 im Substrat erzeugt. Das Substrat 1 kann damit die gleiche Dotierung wie die Epitaxie-Schicht 2 aufweisen. Die hoch dotierte Schicht 10 kann dabei vor dem Aufwachsen der Epitaxieschicht 2 durch Ionenimplantation und/oder Diffusion erzeugt werden. Die darauf folgende Erzeugung der Epitaxieschicht 2 führt auf Grund der typischen Temperaturen von ca. 1000°C zu einer Verbreiterung der Schicht 10 infolge von Diffusion der Dotierstoffe.

Alternativ kann die dotierte Schicht 10 nach Erzeugung der Schicht 2 durch Ionenimplantation und Temperung zur elektrischen Aktivierung der Dotierstoffe gebildet werden. In diesem Fall kann auf den kostenintensiven Epitaxieschritt verzichtet werden, indem ein Ausgangssubstrat 1 verwendet wird, das die für die Schicht 2 geforderte Dotierung aufweist. Bei dieser Variante ist jedoch die Tiefe der hoch dotierten Schicht 10 durch die Möglichkeiten der Ionenimplantation eingeschränkt. Mit üblichen Implantationsanlagen können Tiefen von maximal 0,5 µm erreicht werden. Selbst beim Einsatz spezieller Hochenergieimplanter ist die Tiefe auf wenige Mikrometer beschränkt.

In einer weiteren Ausführungsform wird als Ausgangssubstrat ein SOI-Substrat 11 mit einer vergrabenen Oxidschicht 13 und einer darauf befindlichen Halbleiterschicht 12, die die Funktion der oben beschriebenen Epitaxieschicht 2 übernimmt, verwendet (vgl. Fig. 1b). Oberhalb der vergrabenen Oxidschicht 13 wird eine hoch dotierte Schicht 14 gebildet. Dies kann dabei entweder bei der Herstellung des SOI-Substrates 11 oder wie bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1a durch eine tiefe Ionenimplantation in Verbindung mit einer Temperung erfolgen.

Vor der Realisierung der elektrischen Anschlüsse wird eine Isolationsschicht 6 aufgebracht oder erzeugt, die aus undotiertem oder dotiertem Oxid, wie PSG, PSG, BSG oder BPSG, aus Nitrid oder einem Schichtsystem der genannten Materialien besteht. Neben der Isolation gewährleistet diese Schicht auch einen Schutz der Photodiode. Anschließend

werden die Metallisierung 7 hergestellt und eine Passivierungsschicht 8, die typischerweise aus Oxid und Nitrid besteht, abgeschieden (siehe Fig. 2). Als Verdrahtung kann auch eine Mehrlagenmetallisierung zum Einsatz kommen.

Die Leitbahnführung ist dabei nicht durch die Lage der Photodioden eingeschränkt und kann auch über die Photodioden verlaufen. Dies vereinfacht den Herstellungsprozeß erheblich.

Nach der Fertigstellung der Leitbahnen wird nun das Substrat 1 auf eine Restdicke von wenigen Mikrometern gedünnt. Dazu wird ein Trägersubstrat 20, das eventuell mit einer Abdeckschicht 21, aus beispielsweise Oxid, versehen ist, auf das erste Substrat 1 aufgebracht. Als Trägersubstrat sind neben mono- oder polykristallinen Siliziumsubstraten auch andere Materialien verwendbar, die zu Halbleiterprozessen kompatibel sind, wie z. B. Quarz- oder Glassubstrate. Um eine gute Verbindung zu erreichen, wird dabei vorzugsweise die Oberfläche des Substrates 1 planarisiert.

Die Planarisierung kann mit verschiedenen Verfahren durchgeführt werden. Dabei wird zuerst eine Isolationsschicht 9, wie z. B. Spin-on-Glas oder ein CVD-Oxid aufgebracht. Die maximal mögliche Temperatur wird durch das zulässige Temperaturbudget, in der Regel durch die bei der Metallisierung verwendeten Materialien vorgegeben und liegt typischerweise im Bereich von 400°C. Anschließend wird die Oberfläche eingeebnet, beispielsweise durch Rückätzen, mechanisches und/oder chemomechanisches Schleifen. Nun wird auf die Oberfläche des Substrates 1 oder des Trägersubstrates 20 ganzflächig eine Haftschrift 22 aus einem organischen Material, wie Polyimid oder Photolack, aufgebracht. Diese Haftschrift 22 mit einer Dicke von typischerweise 1 µm bewirkt außerdem eine Planarisierung der Oberfläche. Auf die Haftschrift 22 wird schließlich das Trägersubstrat 20 aufgeklebt, wie in Fig. 3 dargestellt. Dabei ist keine Justage erforderlich. Es genügt vielmehr eine grobe Ausrichtung der beiden Substrate. Das Trägersubstrat 20 wird als Handlingssubstrat für die weiteren Prozeßschritte verwendet und schützt die Oberfläche des Substrates 1 bei der weiteren Bearbeitung.

Danach wird das Substrat 1, das die Photodioden enthält, durch Ätzen und/oder Schleifen von der Rückseite her gedünnt, bis die Dicke des Substrates 1 nur noch wenige Mikrometer beträgt und Epitaxieschicht 2 noch nicht erreicht ist. Das hochdotierte Substrat 1 wird so gedünnt, daß auf der Rückseite eine hoch dotierte Elektrode 1 mit einer Dicke von typischerweise 0,5 µm gebildet wird (Fig. 4). Die Tiefe hängt dabei von den Anforderungen an die Photodiode ab und wird im Wesentlichen durch die von der Wellenlänge der zu detektierenden Strahlung abhängigen Eindringtiefe der Strahlung bestimmt.

Bei der Variante mit der vergrabenen hoch dotierten Schicht 10 erfolgt das Dünnen bis die Schicht 10 erreicht wird. In diesem Fall können auch Ätzverfahren verwendet werden, deren Ätzrate stark von der Dotierung des Substratmaterials abhängt, so daß der Dünnungsprozeß selbständig bei Erreichen der hoch dotierten Schicht 10 stoppt.

Bei der Ausführungsform mit der vergrabenen Oxidschicht 13 wird der Dünnungsprozeß dadurch vereinfacht, daß diese vergrabene Oxidschicht 13 als Ätzstopp dient. Aufgrund der großen Selektivität der Ätzprozesse wird damit eine hohe Homogenität der Dicke des gedünnten Substrates erreicht. Die Enddicke des Substrates wird dabei durch die Dicke der Substratschicht 12 oberhalb des vergrabenen Oxides 13, das danach entfernt werden kann, bestimmt.

Nun wird die neu gebildete Oberfläche des Substrates 1 mit einer Schicht oder einem Schichtsystem 15 versehen, das die Oberfläche schützt, das Halbleitersubstrat 1 elek-

trisch isoliert und gleichzeitig als Passivierung dienen kann. In der Regel wird die Schicht 15 aus Oxid und/oder Nitrid bestehen. Im Falle der oben angesprochenen Verwendung von SOI-Material für das Substrat kann die vergrabene Oxidschicht 13 des SOI-Substrates als Abdeckschicht verwendet werden. Dies kann sich günstig auf die Qualität der Grenzfläche von Substrat 1 zu Abdeckschicht 15, und damit auf die elektrischen Eigenschaften der Photodioden auswirken (Fig. 5).

Bei den mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gebildeten Photodioden liegt im Gegensatz zu den bekannten Anordnungen die gemeinsame Elektrode 1 an der Oberfläche. Da sich die Raumladungszone erst unterhalb der Elektrode 1 erstreckt, muß die Dicke der Elektrode klein gegenüber der Eindringtiefe der Strahlung sein, um einen hohen Wirkungsgrad erreichen zu können. Dies ist besonders bei kurzen Wellenlängen infolge des stark ansteigenden Absorptionskoeffizienten von großer Bedeutung. Eine geringe Dicke der Elektrode hat jedoch andererseits ein Ansteigen des Bahnwiderstandes zur Folge.

Zur Erniedrigung des Bahnwiderstandes der gemeinsamen Elektrode 1 wird gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung vorgeschlagen, zwischen den einzelnen Photodiodenzellen niederohmige Leitbahnen parallel zur Elektrode auf diese aufzubringen und anzuschließen. Werden diese Leitbahnen ausschließlich zwischen den Zellen geführt, so bedeutet dies keine Beeinträchtigung der optisch wirksamen Fläche und damit des Wirkungsgrades. Dazu werden in der Isolationsschicht 15 außerhalb der Photodioden Öffnungen zur Elektrode 1 erzeugt, die Metallisierung 16 hergestellt und eine Passivierungsschicht 17, die typischerweise aus Oxid und Nitrid besteht, abgeschieden. Dies ist aus Fig. 6 ersichtlich. Die Metallisierung 16 bildet auch den Anschluß zur Elektrode 1 und verläuft außerhalb der Photodioden.

Bei einer großen Dicke der Schicht 2, besonders bei langwelliger Strahlung, und geringem lateralen Abstand der einzelnen Photodioden ist eine Wechselwirkung zwischen benachbarten Photodioden nicht auszuschließen. Eine vollständige elektrische Einkopplung kann durch eine dielektrische Isolation der einzelnen Photodioden erreicht werden. Dazu werden zwischen den Dioden mit einem elektrisch isolierenden Material gefüllte Trenche 18 in der Epitaxialschicht 2 gebildet (Fig. 6a). Die Trenche 18 können entweder von der Vorderseite des Substrates 1 her, z. B. vor der Erzeugung der Elektroden 4 oder nach Aufbringen der Isolationsschicht 6, oder von der Rückseite des Substrates 1 her, z. B. vor oder nach dem Aufbringen der Isolationsschicht 15, erzeugt werden.

Die Herstellung der Trenche 18 beginnt mit einer Ätzung von Gräben, die die Epitaxialschicht 2 vollständig durchdringen. Idealerweise wird dazu ein anisotroper Ätzprozeß mit steilen Flanken verwendet, so daß der Graben in verschiedenen Substrattiefen nur geringe Maßabweichungen aufweist. Es sind aber auch andere Ätzprozesse, wie isotrope Ätzungen zulässig, solange die Maßabweichungen reproduzierbar und in alle Koordinatenrichtungen gleich sind und scharfe Kanten erzeugt werden. Um eine dielektrische Isolation zu erzielen, wird der Graben nun mit einem elektrisch isolierenden Material, z. B. mit undotiertem oder dotiertem Oxid, wie FSG, PSG, BSG oder BPSG, Nitrid oder mit einem Schichtsystem der genannten Materialien, aufgefüllt. Das Auffüllen kann durch eine konforme LPCVD-Abscheidung erfolgen, welche ein lunkerfreies Auffüllen ermöglicht, in Verbindung mit einem Rückätzschritt, mit dem das isolierende Material außerhalb der Gräben wieder entfernt wird. Alternativ kann das Abtragen auch durch mechanisches und/oder chemomechanisches Schleifen erfolgen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform werden die Trenche 18 mit einem Schichtsystem aus einem elektrisch isolierenden Material und einem die zu detektierende Strahlung reflektierenden oder absorbierenden Material gefüllt, wie beispielsweise einem Oxid als isolierendes und Polysilizium oder Metallverbindungen als reflektierendes bzw. absorbierendes Material. Hierdurch wird zusätzlich zur elektrischen Isolation auch eine optische Einkopplung der Photodioden erreicht.

Die Schichten 15 und 17 stellen nun die Deckschichten über der Photodiode dar. Im Zuge einer Optimierung der Strahlungseinkopplung in die Photodiode kann bei Bedarf eine Modifikation dieser Schichten über den Photodioden durchgeführt werden. Dies kann durch ein lokales Dünnen, Entfernen und/oder Abscheiden einer optimierten Schicht bzw. Schichtfolge, die für die zu detektierende Wellenlänge transparent ist, erfolgen.

Die Verdrahtung der einzelnen Elemente der Photodiode verläuft auf der Unterseite der Photodiode und beeinflusst nicht die Detektionsflächen. Die Anschlußkontakte der Metallisierung können mit bekannten Verfahren der vertikalen Integration zugänglich gemacht werden. Da es sich bei den Pads in der Regel um großflächige Gebiete mit typischen Abmessungen von 100 µm handelt, werden hier keine hohen Anforderungen an die Justagegenauigkeit gestellt. Damit ist es auch bei Arrays mit hoher Pixeldichte kein Problem, die Signale zur Auswertelektronik zu leiten. Für den Fall, daß das Trägersubstrat 20 bereits vor dem Verbinden Bauelemente enthält, würde man mit dem Verfahren eine vertikale Integration von Strahlungsdetektoren und Auswertelektronik erreichen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Arrays von Photodetektoren, die jeweils eine erste Elektrode (4) auf einer ersten Seite einer photoempfindlichen Schicht (2, 12) und eine zweite, allen Photodetektoren gemeinsame Elektrode (1, 10, 14) auf der gegenüberliegenden Seite der photoempfindlichen Schicht (2, 12) aufweisen, mit folgenden Schritten:

Bereitstellen einer Schichtfolge auf einer Vorderseite eines Substrates (1, 11), wobei die Schichtfolge ganz oder teilweise Bestandteil des Substrates (1, 11) ist und zumindest aus

einer elektrisch leitfähigen Schicht (1; 10; 14), die die zweite Elektrode bildet,

der photoempfindlichen Schicht (2, 12), die auf der elektrisch leitfähigen Schicht (1, 10, 14) aufgebracht ist, und

mehreren elektrisch leitfähigen Gebieten (4), die die ersten Elektroden bilden, auf der ersten Seite der photoempfindlichen Schicht (2, 12), besteht;

Durchführen der elektrischen Kontaktierung und Verdrahtung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4);

Aufbringen des Substrates mit der Schichtfolge und der Verdrahtung auf ein Trägersubstrat (20), wobei die Vorderseite des Substrates (1, 11) zum Trägersubstrat (20) gerichtet ist; und

Dünnen des Substrates (1, 11) von der Rückseite bis auf eine Dicke, die die Transmission von zu detektierender Strahlung zur photoempfindlichen Schicht von der Rückseite her ermöglicht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bereitstellen der Schichtfolge umfaßt:

Bereitstellen des Substrates (1) aus einem hoch

dotierten Halbleitermaterial einer ersten Polarität;

Abscheiden der photoempfindlichen Schicht als niedrig dotierte Halbleiter-Epitaxieschicht (2) der ersten Polarität auf dem Substrat (1);

Aufbringen und Strukturieren einer Maskierungsschicht (3) auf die Halbleiter-Epitaxieschicht (2) zur Festlegung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4); und

Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4)

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bereitstellen der Schichtfolge umfaßt:

Bereitstellen des Substrates (1) aus einem Halbleitermaterial;

Erzeugung einer hoch dotierten Schicht (10) einer ersten Polarität an der Vorderseite des Substrates (1);

Abscheiden der photoempfindlichen Schicht als niedrig dotierte Halbleiter-Epitaxieschicht (2) der ersten Polarität auf der hoch dotierten Schicht (10);

Aufbringen und Strukturieren einer Maskierungsschicht (3) auf die Halbleiter-Epitaxieschicht (2) zur Festlegung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4); und

Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4).

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bereitstellen der Schichtfolge umfaßt:

Bereitstellen des Substrates (1) aus einem Halbleitermaterial niedriger Dotierung einer ersten Polarität;

Erzeugung einer hoch dotierten Schicht (10) der ersten Polarität in einer bestimmten Tiefe unter der Vorderseite des Substrates (1) durch Ionenimplantation;

Aufbringen und Strukturieren einer Maskierungsschicht (3) auf die Vorderseite des Substrates (1) zur Festlegung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4); und

Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4).

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bereitstellen der Schichtfolge umfaßt:

Bereitstellen des Substrates (1) als SOI-Substrat, dessen obere Schicht (2) aus einem Material niedriger Dotierung einer ersten Polarität gebildet ist;

Erzeugung einer hoch dotierten Schicht (10) der ersten Polarität in einer bestimmten Tiefe in oder unter der oberen Schicht (2) durch Ionenimplantation;

Aufbringen und Strukturieren einer Maskierungsschicht (3) auf die Vorderseite des Substrates (1) zur Festlegung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4); und

Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4).

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bereitstellen der Schichtfolge umfaßt:

Bereitstellen des Substrates (1) als SOI-Substrat, das zwischen einer Isolationsschicht (13) und einer oberen Schicht (12) aus einem Material niedriger Dotierung einer ersten Polarität eine hoch dotierte Schicht (14) der ersten Polarität aufweist;

Aufbringen und Strukturieren einer Maskierungsschicht (3) auf die Vorderseite des Substrates

(1) zur Festlegung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4); und

Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4)

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen bzw. Erzeugen der elektrisch leitfähigen Gebiete (4) durch Erzeugung hoch dotierter Gebiete (4) in der photoempfindlichen Schicht (2, 12) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung hoch dotierter Gebiete (4) mittels Ionenimplantation oder Diffusion mit anschließender Temperung erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Durchführen der elektrischen Kontaktierung und Verdrahtung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4) umfaßt:

Aufbringen und Strukturieren einer Isolationsschicht (6) auf die elektrisch leitfähigen Gebiete (4);

Herstellen einer Metallisierungsstruktur (7) für die Kontaktierung und Verdrahtung;

Aufbringen einer Passivierungsschicht (8) auf die Metallisierungsstruktur.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen des Substrates mit der Schichtfolge und der Verdrahtung auf ein Trägersubstrat (20) mittels einer Haltschicht (22) erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufbringen des Substrates auf ein Trägersubstrat (20) eine weitere Schicht (9) auf die durch die elektrische Kontaktierung und Verdrahtung entstandene Oberfläche aufgebracht und anschließend planarisiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Planarisierung durch Rückätzen oder mechanisches und/oder chemomechanisches Schleifen erfolgt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägersubstrat (20) aus einem zu Halbleiterprozessen kompatiblen Material, insbesondere aus mono- oder polykristallinem Silizium, Quarz oder Glas besteht.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Dünnen des Substrates (1, 11) durch Ätzen und/oder Schleifen erfolgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Dünnen des Substrates (1, 11) bis auf eine Dicke von weniger als 5 Mikrometer erfolgt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Dünnen des Substrates (1, 11) bis zum Erreichen der hoch dotierten Schicht (10, 14) erfolgt.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Dünnen des Substrates (1, 11) bis zum Erreichen der Isolationsschicht (13) erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Dünnen auf die elektrisch leitfähige Schicht (1, 10, 14), die die zweite Elektrode bildet, niederohmige Leitbahnen (16) so aufgebracht werden, daß sie die Photodetektoren für senkrecht einfallende Strahlung nicht abschatten.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Dünnen auf die Rückseite des Substrates eine weitere Schicht (15) bzw.

Schichtfolge zum Schutz aufgebracht wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß während der Herstellung mit einem isolierenden Material gefüllte Trenchgräben (18) in der photoempfindlichen Schicht (2, 12) zwischen den Photodetektoren erzeugt werden, um diese voneinander zu isolieren. 5

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Trenchgräben (18) von der Vorderseite des Substrates (1, 11) her vor der Erzeugung der elektrisch leitfähigen Gebiete (4) erfolgt. 10

22. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Trenchgräben (18) von der Vorderseite des Substrates (1, 11) her nach dem Aufbringen der Isolationsschicht (6) erfolgt. 15

23. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Erzeugung der Trenchgräben (18) von der Rückseite des Substrates (1, 11) her nach dem Aufbringen der Isolationsschicht (15) erfolgt. 20

24. Photodetektorarray mit mehreren Photodetektoren, die jeweils eine erste Elektrode (4) auf einer Seite einer photoempfindlichen Schicht (2, 12) und eine zweite, allen Photodetektoren gemeinsame Elektrode (1, 10, 14) auf der gegenüberliegenden Seite der photoempfindlichen Schicht (2, 12) aufweisen, wobei die gemeinsame Elektrode (1, 10, 14) aus einer elektrisch leitfähigen Schicht besteht, die auf der der zu detektierenden Strahlung zugewandten Seite der photoempfindlichen Schicht (2, 12) angeordnet ist. 25  
30

25. Photodetektorarray nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die photoempfindliche Schicht (2, 12) aus einem niedrig dotierten Halbleitermaterial und die gemeinsame Elektrode (1, 10, 14) aus einem hoch dotierten Halbleitermaterial bestehen. 35

26. Photodetektorarray nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß niederohmige Leitbahnen derart auf die gemeinsame Elektrode (1, 10, 14) aufgebracht sind, daß sie die Photodetektoren für senkrecht einfallende Strahlung nicht abschatten. 40

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

- Leerseite -



Fig. 1

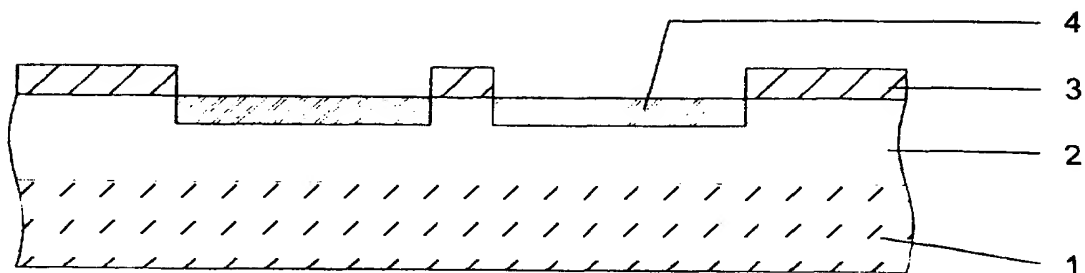


Fig. 1a

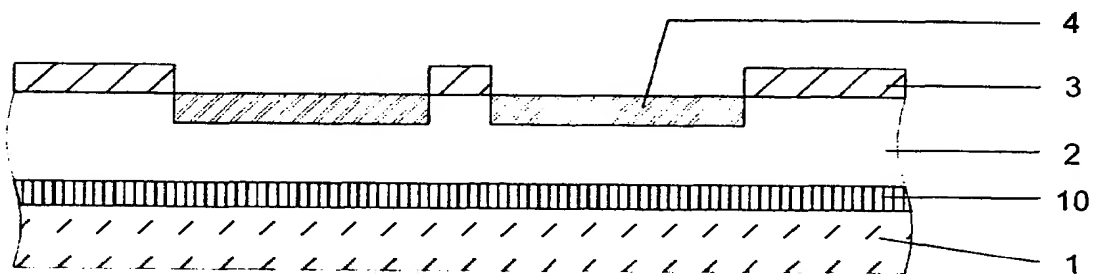


Fig. 1b

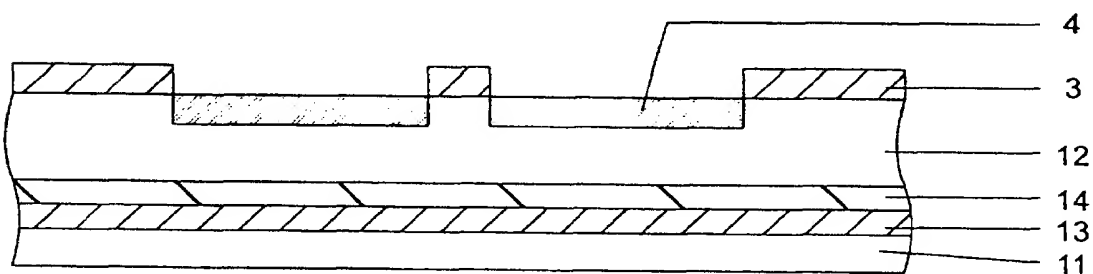


Fig. 2

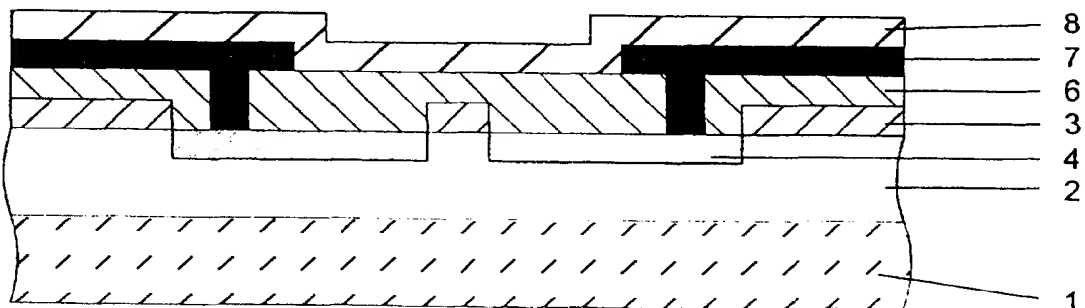


Fig. 3

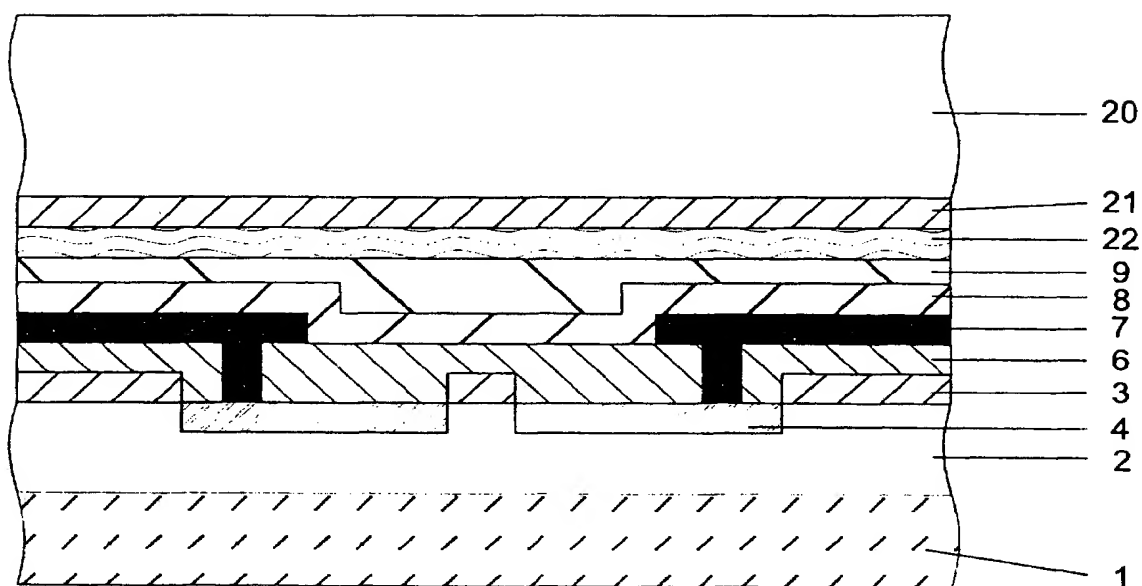


Fig. 4

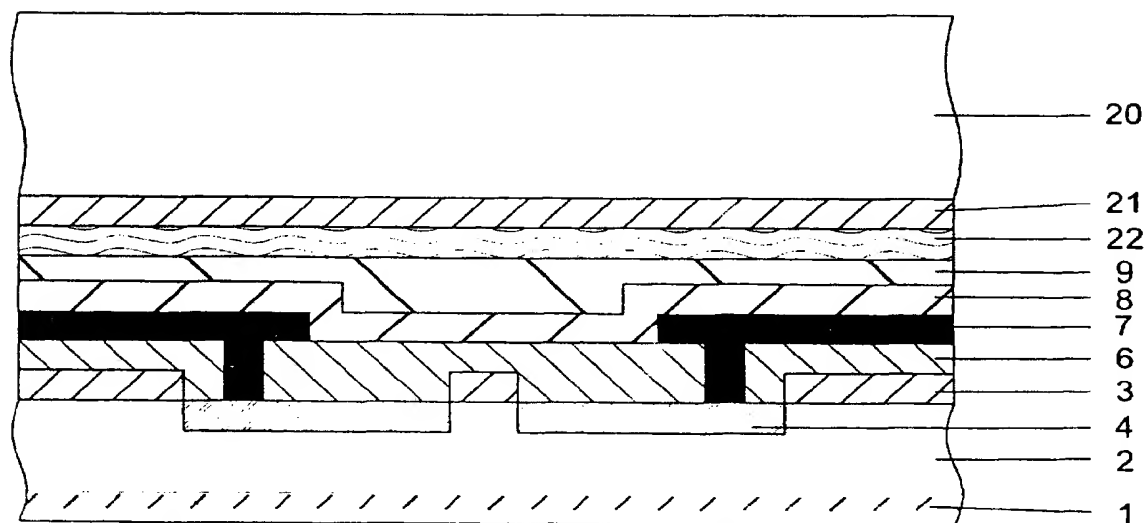


Fig. 5

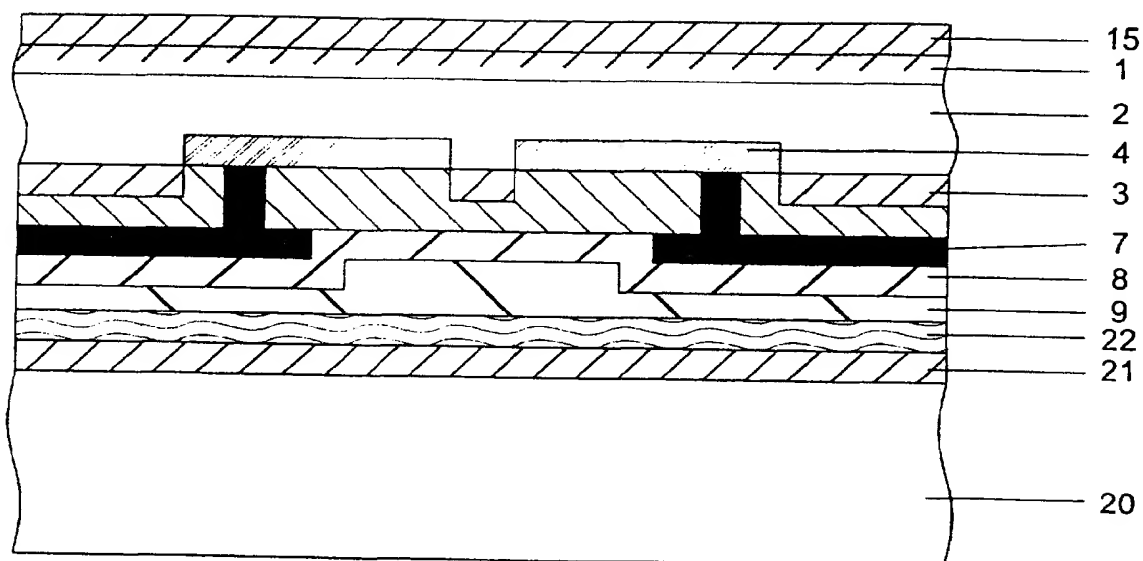


Fig. 6

